

# Influencia de las características del hilo de siembra en el cultivo experimental de *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar y *Laminaria saccharina* (L.) Lamouroux (Laminariales, Phaeophyta)

J. M. Salinas<sup>1</sup>, J. Cremades<sup>2</sup>, C. Peteiro<sup>1</sup> y C. Fuertes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Planta de Cultivos de Algas El Bocal. Instituto Español de Oceanografía. E-39080 Monte-Santander (Cantabria), España. Correos electrónicos: juanma.salinas@st.ieo.es; peteiro@st.ieo.es; carmen.fuertes@st.ieo.es

<sup>2</sup> Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. Campus da Zapateira, s/n. E-15071 A Coruña, España. Correo electrónico: creuga@udc.es

Recibido en septiembre de 2004. Aceptado en mayo de 2006.

## RESUMEN

La viabilidad del cultivo industrial de *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar y *Laminaria saccharina* (L.) Lamouroux según el sistema de cultivo occidental requiere que en una fase previa de laboratorio se obtengan colectores con hilo de siembra rico en embriones que se desarrollarán en la fase de cultivo en el mar. En el presente trabajo se atiende a la influencia que tienen en la densidad final de plántulas la naturaleza del hilo de siembra y el número de tratamientos previos a los que es sometido. Los resultados muestran claramente que el hilo trenzado tiene mejores cualidades para ambas especies, en particular para *L. saccharina*, y que para conseguir una densidad adecuada de embriones es suficiente someterlo a un único tratamiento de incremento de su microestructura.

**Palabras clave:** Algas marinas alimentarias, wakame, kombu de azúcar, cultivo en laboratorio, península Ibérica.

## ABSTRACT

**Impact of collector string characteristics on experimental culture of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar and *Laminaria saccharina* (L.) Lamouroux (Laminariales, Phaeophyta)**

The viability of industrial culture of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar and *Laminaria saccharina* (L.) Lamouroux using Western techniques requires an indoor phase to obtain collector strings on which many sporophytes are attached, which can then develop during the mariculture phase.

The present paper studies the impact on final sporophyte richness of the characteristics of the string, and its number of previous treatments. Plaited string was clearly superior for both species, and a single previous treatment was enough to guarantee a suitable density of sporophytes for seeding.

**Keywords:** Edible seaweed, wakame, sugar kombu, indoor culture, Iberian Peninsula.

## INTRODUCCIÓN

*Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Laminariales, Phaeophyta) es una especie originaria de Japón, Corea y China (Akiyama y Kurogi, 1982) que durante los últimos años ha ampliado enormemente su área de distribución a otros países y continentes. En las costas españolas, esta especie se introdujo en la ría de Arousa (Galicia, noroeste de España) en 1990 (Cremades Ugarte, 1995), extendiéndose posteriormente a otras localidades, tanto gallegas como asturianas (Salinas, Llera y Fuertes, 1996; Pérez Ruzafa, Menéndez y Salinas, 2002). El wakame, nombre con el que se conoce a esta especie, es utilizado en la alimentación humana por sus excelentes cualidades nutricionales (alto contenido en proteínas, fibra, aminoácidos esenciales, vitaminas, etc.) y por el desarrollo de las técnicas de su cultivo y procesado industrial (Indergaard y Jensen, 1991; Yamanaka y Akiyama, 1993). Estos cultivos tuvieron su inicio a mediados del siglo pasado en el sudoeste asiático (Akiyama y Kurogi, 1982) y, mucho más recientemente, en Europa (Perez, Kaas y Barbaroux, 1984; Moigne, 1990; Pérez-Cirera *et al.*, 1997; Cremades *et al.*, 1997; Peteiro García, 2001) y América (Yamanaka y Akiyama, 1993); hoy, esta especie de macroalga alimentaria marina se ha situado la tercera en el mundo por importancia económica, al generar su comercialización unos 600 millones de dólares al año (Jensen, 1993).

*Laminaria saccharina* (L.) Lamouroux (kombu de azúcar), autóctona en las costas de la península Ibérica y frecuente solo en el noroeste (Izquierdo, Navarro y Gallardo, 1993), tiene, como *U. pinnatifida*, prometedoras aplicaciones en la alimentación humana por sus cualidades organolépticas y nutricionales. Está próxima, taxonómica y morfológicamente, a *Laminaria japonica* Areschoug (kombu), una de las tres principales especies de algas alimentarias del mundo, que cuenta con una gran tradición culinaria en los países asiáticos.

El primer experimento de cultivo de *L. saccharina*, orientado a obtener exclusivamente una gran producción de biomasa con fines industriales, fue el efectuado en las costas atlánticas de Estados Unidos, dentro del New York Marine Biomass Program (Brinkhuis *et al.*, 1984).

La incipiente pero prometedora industria española basada en la explotación, procesado y comercialización de estas especies necesita el desarrollo

de sus técnicas de cultivo, ya que la explotación de los bancos naturales no debe ser el fundamento de una iniciativa industrial, por cuestiones tan obvias como la localización de los mismos, las variaciones cualitativas, cuantitativas y temporales de sus cifras de producción o las posibles consecuencias negativas ocasionadas sobre el medio si es incontrolada. Por ello, las líneas de investigación que se imponen actualmente son, en primer lugar, las de optimización y mejora de estos cultivos, con la rentabilidad de los mismos como objetivo prioritario para que el sector industrial esté interesado en su explotación.

La viabilidad del cultivo de las algas pertenecientes al orden Laminariales (Phaeophyta), como *U. pinnatifida* y *L. saccharina*, requiere reproducir todos los estadios de su ciclo vital digenético, diplobióntico y con una acentuada alternancia heteromórfica de generaciones (Fritsch, 1945), lo que obliga a dividir el cultivo en dos fases bien diferenciadas. La primera fase, de cultivo en laboratorio, se dedica a la obtención de gametofitos microscópicos que, sembrados en colectores y con técnicas de simulación ambiental, darán finalmente origen al hilo de siembra cargado de jóvenes esporofitos. En la segunda fase, de cultivo en el mar, este hilo sembrado es implantado sobre cabos portadores en la época adecuada con el objetivo del total desarrollo de los esporofitos en campos de cultivo; es la fase dominante del ciclo vital de estas algas y también la que tiene aplicaciones industriales.

En el presente trabajo se atiende a una de las partes de este proceso, en particular la influencia en la densidad de plántulas de la naturaleza y la microestructura del hilo de siembra. Esta variable es extraordinariamente importante, al determinar la densidad idónea de plántulas en el cultivo, lo que repercutirá notablemente en los resultados de producción del cultivo. La adecuada elección del tipo de hilo de siembra y la aplicación de los tratamientos a los que debe ser sometido conducirán a la densidad conveniente de plántulas fijadas sobre el hilo de semilla, con el mínimo gasto de cultivo de gametofitos en suspensión, una de las fases del cultivo que requiere más tecnología, medios y personal cualificado.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la producción de gametofitos en laboratorio y la obtención de jóvenes esporofitos se ha se-

guido, en líneas generales, el método europeo en *free-living* (cultivo de gametofitos en suspensión) desarrollado por Perez *et al.* (1992). Los pasos seguidos en este método son: tratamiento de esporofitos maduros y obtención de zoosporas, germinación de las zoosporas, inicio y mantenimiento del cultivo en suspensión de gametofitos, inducción a la gametogénesis, siembra de los gametofitos sobre los colectores, fecundación y primeros estadios de desarrollo de los nuevos esporofitos. El estudio se realizó en las instalaciones de la Planta de Cultivos de El Bocal (Santander, norte de España) centro del Instituto Español de Oceanografía (IEO) diseñado para la investigación de cultivos de macroalgas a escala semiindustrial.

Para valorar la influencia de la microestructura del hilo de siembra en la fijación de gametofitos de *U. pinnatifida* y *L. saccharina* se utilizaron dos tipos de hilo de poliamida de 2 mm de diámetro análogos a los utilizados por Perez *et al.* (1992): hilo torsionado con una sección formada por tres círculos de hebras de monofilamentos de 25  $\mu\text{m}$ , e hilo trenzado de sección formada por cuatro hebras, con el mismo tipo de monofilamentos (figura 1). La elección de estos dos tipos de hilo obedece a que son los principales comercialmente disponibles.

Ambos tipos de hilo fueron tratados previamente mediante dos hervidos de una hora de duración, lavados sucesivos con agua corriente y un lavado fi-

nal con agua destilada para eliminar los aditivos que contengan, principalmente ceras y siliconas impermeabilizantes, y que puedan dificultar la absorción de agua. Una vez secados, se les confirió una microestructura mediante 0 (control), 2, 4 y 6 lijados bidireccionales con piedra amoladora acanalada modelo Quassar de corindón tipo P60 y grano 000 100. Por último, los lotes de cada tipo de hilo fueron quemados con aire a 110 °C con el fin de retraer los monofilamentos rotos por el lijado, dotando a los hilos de microestructuras finales diferentes, proporcionales a la intensidad del lijado (figura 2).

Para realizar la siembra y el posterior cultivo de embriones, se utilizaron cinco porciones de 36 cm de cada tipo de hilo, montadas con gomas elásticas sobre colectores de 12 cm  $\times$  12 cm  $\times$  47 cm de acero inoxidable, tipo IEO-2. El germoplasma utilizado para las siembras procede de las colecciones del IEO, código GAL 15, con una densidad de 6,088  $10^5$  células gametofíticas maduras (CGM) por ml para *U. pinnatifida*, y código LAMI N, con 6,092  $10^6$  CGM/ml para *L. saccharina*. Se realizó una siembra a saturación, proyectando 125 ml de cultivo de cada germoplasma mediante pulverización sobre los colectores con los hilos de semilla, dejándolos escurrir a continuación durante 3 horas, en oscuridad y a 14 °C.

Las fases consecutivas de gametogénesis, fecundación y embriogénesis se realizaron en cámara os-

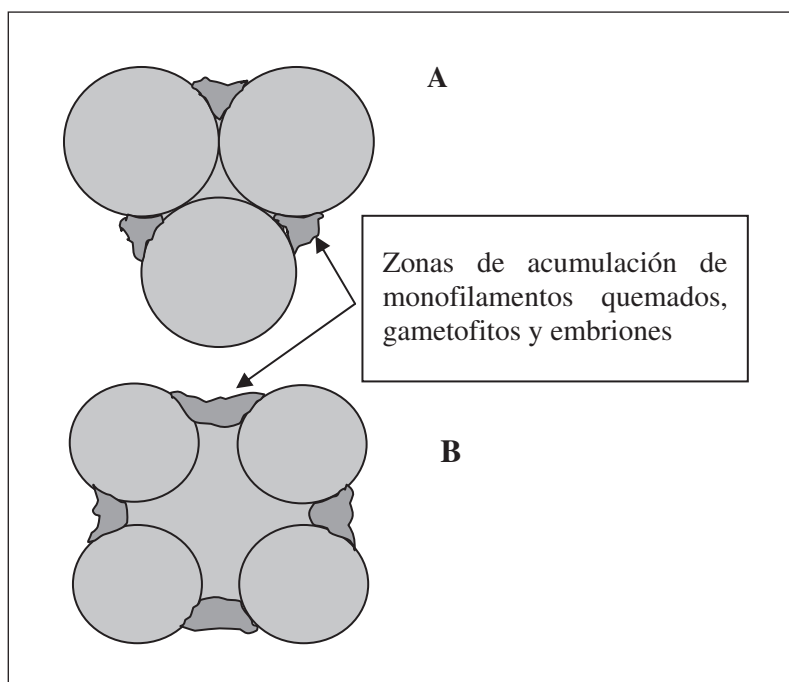


Figura 1. Representación esquemática de los hilos torsionado (A) y trenzado (B) con las zonas de agregación preferencial de embriones sobre las microestructuras obtenidas de la retracción de los monofilamentos como consecuencia del quemado.

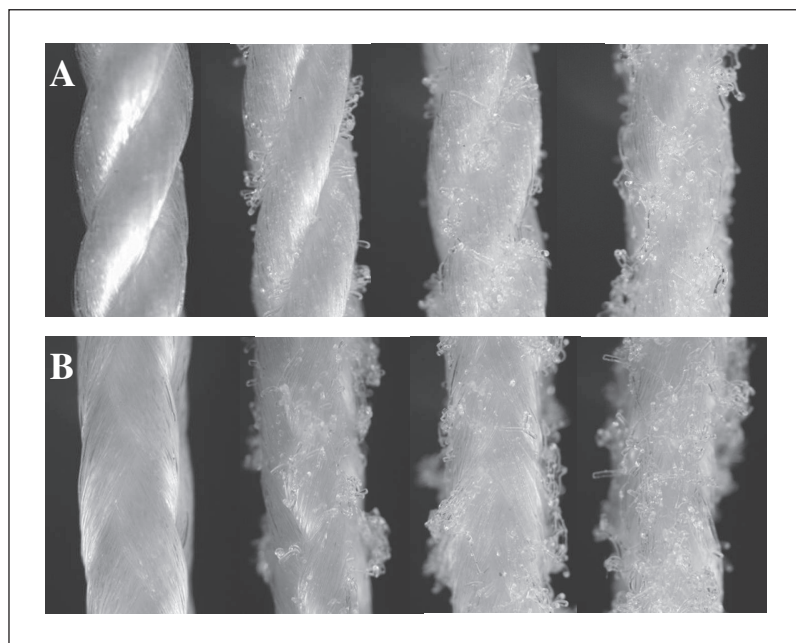


Figura 2. Aspecto de los dos tipos de hilo de poliamida de 2 mm de diámetro utilizados en el experimento después de 0, 2, 4 y 6 lavados bidireccionales y el quemado final. (A): hilo torsionado; (B): hilo trenzado.

cura, en tanques de 1 375 l de capacidad con forma de prisma rectangular, aislados térmicamente, con iluminación lateral y superior y control de fotoperiodo, sistema de regulación de temperatura por intercambiador continuo, con 0,1 °C de precisión, y sistema hidrodinámico por inyección de aire estéril con control de flujo. La fase crítica de la introducción de los colectores en estos tanques se realizó en todos los casos a una velocidad controlada de 1 cm/s para minimizar el desprendimiento de gametofitos.

Para el cultivo se utilizó agua de mar filtrada a 0,4 µm enriquecida con 17,5 ppm de N-NO<sub>3</sub>, 0,6 ppm de P-PO<sub>4</sub> y 0,2 ppm de Fe quelado. La iluminación se realizó con lámparas fluorescentes tipo Coral Star (Aquastar), con luz día y luz negra según las distintas fases del cultivo. La intensidad fue controlada con un quantómetro modelo LI-250 de la marca Licor con sensor esférico sumergible de medición de luz PAR global. Las condiciones físicas se ajustaron al cronograma de producción de plántulas del IEO.

A los 21 días de cultivo, es decir, cuando los gametofitos fijados han desarrollado ya embriones de unas 100-300 células de tamaño, se procedió a la toma de muestras para los recuentos. Para realizar este muestreo se cortaron para cada especie, aleatoriamente, 6 porciones de 10 mm de cada tipo de hilo, utilizando un microscopio esteoroscópico para tal fin. Para los recuentos, los embriones fueron desprendidos mediante aplicación de ultrasonidos

y posteriores lavados sucesivos hasta su extracción total; a continuación, la suspensión de embriones obtenida se concentró por centrifugación, se resuspendió en un volumen de 6 ml de agua de mar estéril y se distribuyó en placas multipocillo en lotes de 0,25 ml.

En el tratamiento estadístico de los datos se emplearon distintos anova previa comprobación de la homogeneidad de varianzas intragrupo mediante la prueba de Levene. En los casos en que el anova reveló diferencias significativas entre las muestras, fue utilizada la prueba *post hoc* de comparaciones múltiples HSD de Tukey para conocer los subconjuntos homogéneos. Para todo el análisis de datos se aplicó el paquete estadístico SPSS para Windows, v. 11.0.

## RESULTADOS

En cuanto a las características de los hilos, en sección transversal (figura 1) el hilo torsionado ofrece tres zonas de posible acumulación de gametofitos, frente a las cuatro, y más protegidas, que ofrece el hilo trenzado. Por otra parte, en este último tipo de hilo parece que la mejora de las características microestructurales para la fijación es, tras un único tratamiento, mucho más acentuada que en el torsionado (figura 2), seguramente porque el hilo trenzado, por su diseño, es más vulnerable a la acción de la piedra amoladora empleada para tal fin.



Con respecto a las características de los gametofitos femeninos obtenidos en cultivo en suspensión cabe destacar que son radicalmente opuestas en ambas especies. Mientras que los de *L. saccharina* son de muy pocas células y apenas están ramificados (figura 3A), los de *U. pinnatifida* forman largas cadenas con ramificaciones de varios órdenes (figura 3C). Por otra parte, los gametofitos de *L. saccharina*, a pesar de su pequeño número de células, dan lugar posteriormente a un elevado número de embriones (figura 3B), mientras que los de *U. pinnatifida*, aunque tienen muchas más células, producen un número de embriones proporcionalmente muy inferior (figura 3D).

En cuanto a las variaciones del número de embriones fijados de *L. saccharina* en cada tipo de hilo y tratamiento, en la tabla I y la figura 4 se ofrecen los datos obtenidos, sus correspondientes estadísticos descriptivos y la representación gráfica de los mismos. El anova realizado muestra que existen diferencias significativas al nivel del 95 % ( $p\text{-valor} = 0,000$ ) entre las medias del número de embriones en los distintos tratamientos y tipos de hilo, y la prueba *post hoc* de comparaciones múltiples precisa que para cada tipo de hilo, y al mismo nivel de significación, las medias de este número son también distintas entre sí en todos los tratamientos ( $p\text{-valor} = 0,000$ ).

Con respecto a la comparación de los resultados obtenidos entre ambos tipos de hilo, en la tabla II se muestran los datos obtenidos de los distintos anova realizados para un mismo tratamiento entre cada tipo de hilo. Como se puede observar, existen diferencias significativas a este respecto en todos los casos comparados, resultando siempre mayor el número medio de embriones, para un mismo tratamiento, en el hilo trenzado.

En el caso de *U. pinnatifida*, los datos obtenidos, sus correspondientes estadísticos descriptivos y la representación gráfica de las variaciones del número de embriones fijados en cada tipo de hilo y tratamiento se ofrecen en la tabla III y la figura 5. El anova realizado muestra que existen diferencias significativas al nivel del 95 % ( $p\text{-valor} = 0,000$ ) entre las medias del número de embriones en los distintos tratamientos y tipos de hilo, y la prueba *post hoc* de comparaciones múltiples precisa que para cada tipo de hilo, y al mismo nivel de significación, las medias de este número son también distintas entre sí en todos los tratamientos ( $p\text{-valor} = 0,000$ ).

Con respecto a la comparación de los resultados obtenidos entre ambos tipos de hilo, en la tabla IV se muestran los datos obtenidos de los distintos anova realizados para un mismo tratamiento entre cada tipo de hilo. Como se puede observar, no exis-

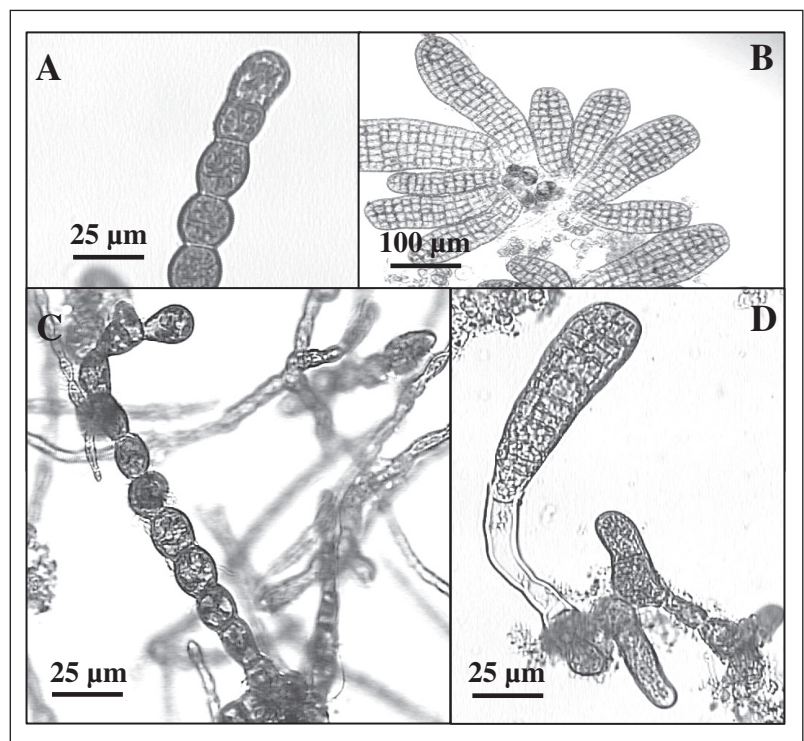


Figura 3. *Laminaria saccharina*: (A): gametofitos femeninos en el momento de la siembra; (B): cubierto de embriones a los 21 días de cultivo. *Undaria pinnatifida*: (C): gametofito femenino en el momento de la siembra; (D): con varios embriones en distinto estado de desarrollo a los 21 días de cultivo.

Tabla I. Valores obtenidos de los seis recuentos de embriones de *L. saccharina* por centímetro de hilo de semilla en cada uno de los tratamientos y tipos de hilo y sus correspondientes estadísticos descriptivos.

	N.º de muestra	N.º de tratamientos			
		0	2	4	6
Hilo trenzado	1	1 142	3 559	4 665	5 639
	2	1 308	3 703	4 302	5 491
	3	1 136	3 598	4 445	5 710
	4	1 372	3 410	4 517	5 520
	5	1 205	3 615	4 581	5 411
	6	1 227	3 492	4 610	5 762
	Media	<b>1 231,7</b>	<b>3 562,8</b>	<b>4 520,0</b>	<b>5 588,8</b>
	Desv. típica	83,22	101,98	131,15	136,47
	N.º de muestra	N.º de tratamientos			
		0	2	4	6
Hilo torsionado	1	940	1 998	3 234	3 826
	2	986	2 309	3 021	3 859
	3	1 125	2 424	3 051	4 131
	4	1 005	2 055	3 050	3 917
	5	1 107	2 319	3 120	4 022
	6	1 140	2 222	3 177	3 976
	Media	<b>1 050,5</b>	<b>2 221,2</b>	<b>3 108,8</b>	<b>3 955,2</b>
	Desv. típica	83,90	164,83	83,62	112,43

ten diferencias significativas a este respecto en ninguno de los casos comparados.

## DISCUSIÓN

En *L. saccharina* el hilo trenzado tiene mejores cualidades para la fijación de embriones que el torsionado, ya que sin tratamiento alguno se obtienen en él densidades significativamente mayores que las obtenidas en el hilo torsionado. Por otra parte, parece que el grado de mejora en la fijación tras los tratamientos es mucho más acentuado también en el hilo trenzado, ya que, como se puede apreciar en la figura 4, este tipo de hilo, tras un único tratamiento de lijado bidireccional,

demuestra una eficacia superior a la mostrada por el hilo torsionado tras dos tratamientos consecutivos. Estos resultados sugieren que, al menos para esta especie, podría utilizarse hilo trenzado no sometido a ningún tratamiento de lijado, ya que la densidad de

Tabla II. Resultados obtenidos en los distintos anova realizados en la comparación, para un mismo tratamiento, del número de embriones de *L. saccharina* por centímetro de hilo de ambos tipos.

Trenzado vs. torsionado	Prueba de Levene	Anova	
N.º de tratamientos	p-valor (95 %)	F	p-valor (95 %)
0/0	0,955	12,52	<b>0,005</b>
2/2	0,225	287,49	<b>0,000</b>
4/4	0,391	493,88	<b>0,000</b>
6/6	0,420	512,17	<b>0,000</b>

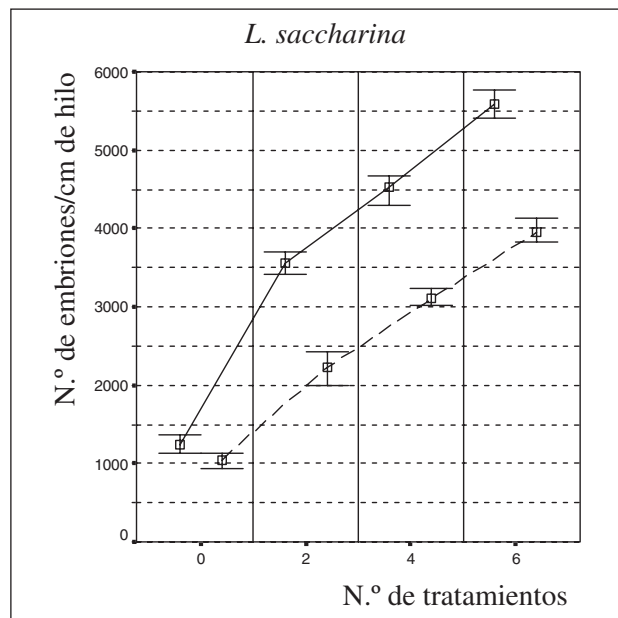


Figura 4. Representación gráfica de los valores máximo, mínimo y medio del número de embriones de *L. saccharina* por centímetro de hilo de semilla para cada tipo de hilo y tratamiento (trazo continuo: hilo trenzado; trazo discontinuo: hilo torsionado).

Tabla III. Valores obtenidos de los seis recuentos de embriones de *Undaria pinnatifida* por longitud de hilo de semilla en cada uno de los tratamientos y tipos de hilo y sus correspondientes estadísticos descriptivos.

	N.º de muestra	N.º de tratamientos			
		0	2	4	6
Hilo trenzado	1	7	174	193	276
	2	5	162	210	251
	3	6	144	222	226
	4	9	156	250	236
	5	4	123	184	213
	6	9	194	190	232
	Media	<b>6,67</b>	<b>158,83</b>	<b>208,17</b>	<b>239</b>
	Desv. típica	2,06	24,45	24,85	21,98
	N.º de muestra	N.º de tratamientos			
		0	2	4	6
Hilo torsionado	1	4	162	189	281
	2	7	147	208	256
	3	4	195	263	272
	4	5	187	236	275
	5	5	174	242	315
	6	9	154	225	225
	Media	<b>5,67</b>	<b>169,83</b>	<b>227,17</b>	<b>270,67</b>
	Desv. típica	1,97	18,86	26,12	29,64

embriones obtenida parece ser suficiente (un valor medio de 1 231,7 embriones por centímetro) (tabla I); sin embargo, este número prácticamente se triplica (3 562,8) (tabla I) tras un único tratamiento de lijado, por lo que parece aconsejable someterlo al mismo.

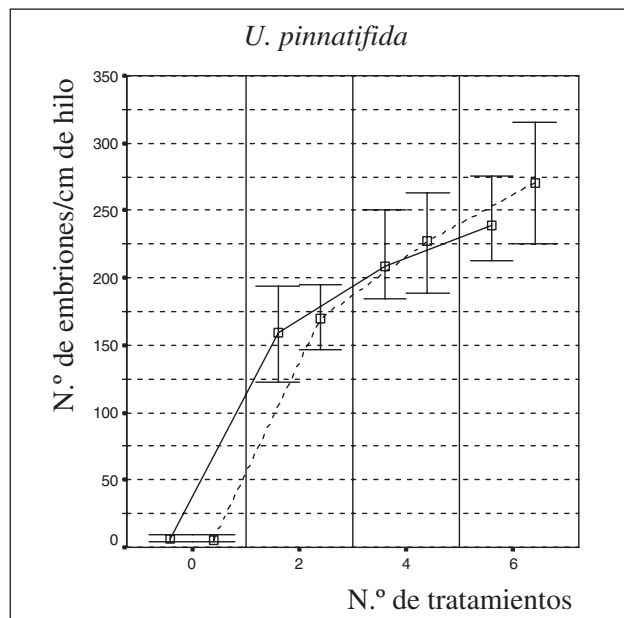


Figura 5. Representación gráfica de los valores máximo, mínimo y medio del número de embriones de *U. pinnatifida* por centímetro de hilo de semilla para cada tipo de hilo y tratamiento (trazo continuo: hilo trenzado; trazo discontinuo: hilo torsionado).

Las razones del mejor comportamiento del hilo trenzado frente al torsionado en *L. saccharina* deben buscarse en la morfología de los gametofitos de esta especie y en las diferencias en la estructura y en la respuesta al lijado. Como se ha visto, los gametofitos femeninos de esta especie obtenidos en cultivo en suspensión son de pequeño tamaño y muy poco ramificados, por lo que su fijación al hilo de semilla se ve a menudo comprometida, si bien los que consiguen fijarse producen una gran cantidad de embriones, cualidad característica de los mismos (figura 3, A y B).

En el caso de *U. pinnatifida*, los resultados muestran que, al contrario de lo que sucede en *L. saccharina*, ambos tipos de hilo, para cada tratamiento, tie-

Tabla IV. Resultados obtenidos en los distintos anova realizados en la comparación, para un mismo tratamiento, del número de embriones de *U. pinnatifida* por centímetro de hilo de ambos tipos.

Trenzado vs. torsionado	Prueba de Levene	Anova	
N.º de tratamientos	p-valor (95 %)	F	p-valor (95 %)
0/0	0,847	0,74	<b>0,411</b>
2/2	0,741	0,76	<b>0,403</b>
4/4	0,935	1,66	<b>0,226</b>
6/6	0,703	4,42	<b>0,062</b>

nen unas cualidades análogas con respecto al número de embriones que se desarrollan en ellos. La razón de esta diferencia de comportamientos podría buscarse también en el propio diseño de los hilos, pero pensamos que se encuentra principalmente en la distinta morfología de los gametofitos. Los de *U. pinnatifida* obtenidos en cultivo en suspensión son más grandes y ramificados que los de *L. saccharina*, lo que facilita su fijación al hilo de semilla y hace que las características microestructurales de los hilos sean entonces mucho menos relevantes. Sin embargo, en esta especie, los gametofitos que consiguen fijarse producen típicamente una cantidad de embriones mucho menor (figura 3C,D), de ahí las grandes diferencias cuantitativas que se pueden apreciar en todos los casos entre el número de embriones de *U. pinnatifida* frente a los de *L. saccharina*.

De manera mucho más notoria que en el caso de *L. saccharina*, se observa en *U. pinnatifida* un alto grado de mejora en la fijación de embriones tras los tratamientos del hilo, ya que, como se ilustra en la figura 5, se pasa de unos valores medios en los hilos trenzado y torsionado no sometidos a tratamiento de 6,67 y 5,67 embriones por centímetro respectivamente, a valores que superan éstos cerca de 25 veces tras un único tratamiento: 158,83 y 169,83 respectivamente (tabla III). Esto debe ser originado también por la morfología de los gametofitos, que sobre los hilos sin tratamiento no se fijan y, por su tamaño, apenas pueden refugiarse en las zonas de acumulación, mientras que por su alto grado de ramificación se fijan de manera masiva efectuando esta pequeña mejora en las características microestructurales del hilo. Es decir, que en esta especie es absolutamente necesario someter el hilo de semilla al menos a un único proceso de lijado bidireccional para optimizar la rentabilidad del cultivo industrial.

Es deseable que, como consecuencia de los estudios experimentales sobre los materiales implicados en la acuicultura de macroalgas, se pueda disponer en breve de hilos de siembra idóneos para las características biológicas de las especies cultivadas.

## BIBLIOGRAFÍA

Akiyama, K. y M. Kurogi. 1982. Cultivation of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, the decrease in crops from natural plants following crops increase from cultivation. *The Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory* 44: 91-100.

- Brinkhuis, B. H., E. C. Mariani, V. A. Breda y M. M. Brady-Campbell. 1984. Cultivation of *Laminaria saccharina* in the New York Marine Biomass Program. *Hydrobiologia* 116/117: 177-266.
- Cremades, J., J. M. Salinas, A. Granja, I. Bárbara, A. J. Veiga, J. L. Pérez-Cirera y C. Fuertes. 1997. Factores que influyen en la viabilidad y crecimiento de *Undaria pinnatifida* en cultivo: *fouling*, tamaño de plántula y periodos de aclimatación presiembra. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* 7: 29-40.
- Cremades Ugarte, J. 1995. A introducción de algas marinas alóctonas nas costas de Galiza. *Cerna* 16: 12-15.
- Fritsch, F. E. 1945. *The structure and reproduction of the algae*. II. Cambridge University Press. Cambridge: 939 pp.
- Indergaard M. y A. Jensen. 1991. *Utnyttelse av marin biomasse*. Institutt for Bioteknologi, Norges Tekniske Høgskole. Trondheim, Noruega: 123 pp.
- Izquierdo, J. L., M. J. Navarro y T. Gallardo. 1993. Mapas de distribución de algas marinas de la Península Ibérica. IV. *Laminaria ochroleuca* Pylae, *L. hyperborea* (Gunner.) Foslie y *L. saccharina* (L.) Lamour. *Botanica complutensis* 18: 291-304.
- Jensen, A. 1993. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260/261: 15-23.
- Moigne, J. Y. 1990. Culture de l'algue alimentaire Wakame (*Undaria pinnatifida*). En: *Les algues: une matière première pour de nouveaux. Le point et les perspectives*. AAVV (eds.): 13-18. Association pour la Promotion Industrie Agriculture, Brest, Francia.
- Perez, R., R. Kaas y O. Barbaroux. 1984. Culture expérimentale de l'algue *Undaria pinnatifida* sur les côtes de France. *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit.* 343: 16 pp.
- Perez, R., R. Kaas, F. Campello, S. Arbault y O. Barbaroux. 1992. *La culture des algues marines dans le monde*. Service de la Documentation et des Publications (SDP). Ifremer. Plouzane, Francia: 614 pp.
- Pérez-Cirera, J. L., J. M. Salinas, J. Cremades, I. Bárbara, A. Granja, A. J. Veiga y C. Fuertes. 1997. Cultivo de *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) en Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* 7: 3-28.
- Pérez Ruzafa, I., J. L. Menéndez y J. M. Salinas. 2002. Mapas de distribución de algas marinas de la Península Ibérica e Islas Baleares. XV. *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Laminariales, Fucophyceae). *Botanica complutensis* 26: 147-151.
- Peteiro García, C. 2001. *Cultivo experimental con fines industriales de Undaria pinnatifida (Laminariales, Phaeophyta) en la ría de Ares y Betanzos (A Coruña)*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. A Coruña, España: 65 pp.
- Salinas, J. M., E. M. Llera y C. Fuertes. 1996. Nota sobre la presencia de *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Laminariales, Phaeophyta) en Asturias (mar Cantábrico). *Boletín. Instituto Español de Oceanografía* 12 (1): 77-79.
- Yamanaka, R. y K. Akiyama. 1993. Cultivation and utilization of *Undaria pinnatifida* (wakame) as food. *Journal of Applied Phycology* 5: 249-253.